

Ракитин А.В., Костров В.В.

Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23
E-mail: vvk@mit.ru

Снижение вычислительной сложности корреляционно-экстремальных алгоритмов поиска объектов

В системах радиовидения и видеонаблюдения при решении задач автоматического поиска объектов на изображениях часто используются корреляционно-экстремальные алгоритмы [1]. Вместе с тем прямая реализация анализа критериальной функции объекта при обработке видео или радиолокационного изображения (РЛИ) порождает ряд проблем. С одной стороны, условия наблюдения объекта являются сложными и в большинстве случаев нестационарными. Это приводит к необходимости применения специальных схем для стабилизации уровня вероятности ложных тревог. С другой стороны, обработка изображений требует больших вычислительных ресурсов даже при малых размерах РЛИ. Особенно остро проблема снижения вычислительной сложности стоит в бортовой аппаратуре, работающей в реальном времени [1]. Снижение времени вычислений при ограничениях на вычислительный ресурс представляет собой сложную задачу, причем для одних и тех же алгоритмов её решение проводится в различных направлениях. В частности после декомпозиции алгоритма для оценки вычислительных затрат на этапе проектирования системы цифровой обработки сигналов (ЦОС) необходимо определить возможности цифровых процессоров, микроконтроллеров или ПЛИС по обработке базовых компонентов алгоритма. Кроме того, сэкономить вычислительный ресурс можно за счет использования быстрых алгоритмов реализации вычислений.

Цель доклада – рассмотреть принципы снижения вычислительных затрат при поиске объектов на радиолокационных или видео изображениях со стабилизацией вероятности ложных тревог.

Для определения статистических характеристик фона, от которых зависит вероятность аномального обнаружения объекта и на основании которых корректируется порог обнаружения, используется свободная от сигнала область изображения и выборочный метод статистического анализа. Размер этой области зависит от размеров обнаруживаемых объектов и необходимого объема выборки [2]. Наиболее простой для определения статистических свойств шума и анализа сигнала является квадратная область (рис. 1), поскольку изображения, как правило, задаются на прямоугольной сетке. В оконной области анализа шума, окружающей полезный объект, всего содержится S_{fon} пикселей, в области анализа сигнала – S_{sig} .

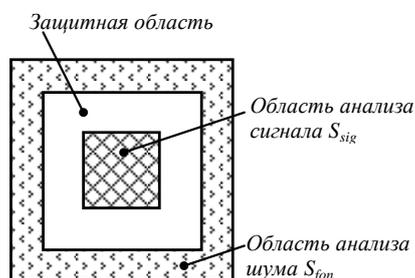


Рис. 1 – Основные окна анализа

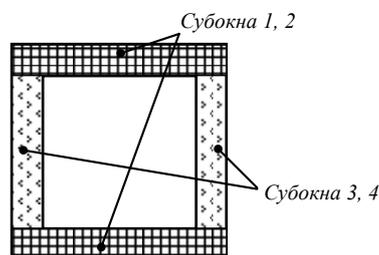


Рис. 2 – Декомпозиция окна анализа фона

В простейших системах обнаружения в области анализа шума измеряется среднее значение и дисперсия фонового сигнала, на основании которых формируется адаптивный порог. Для этого используются типовые соотношения выборочного метода: среднее значение равно $m_1 = S_{fon}^{-1} \sum_{i,j} \xi_{i,j}$, второй момент $m_2 = S_{fon}^{-1} \sum_{i,j} \xi_{i,j}^2$ и дисперсия $\sigma^2 = m_2 - m_1^2$, где $\xi_{i,j}$ – пиксели изображения в окне анализа. Дисперсия фоновой помех вычисляется в каждой точке

изображения, размерность которого определим $N_x \times N_y$ пикселей, поэтому вычислительные затраты на ее вычисление определяются соотношением $N_x \times N_y$ умножений и $N_x \times N_y$ сложений (вычитаний). Наиболее трудоемкими в реализации являются соотношения для расчета среднего значения и второго момента, причем их вычисление может быть проведено различными способами. В частности, операция вычисления сумм (накопления данных) может быть представлена как нерекурсивная фильтрация с единичными коэффициентами фильтра. Указанные суммы можно также вычислять с помощью свертки, а для ускорения процесса вычислений использовать быстрые алгоритмы с переходом в частотную область [3].

Для сравнения и оптимизации вычислительных затрат рассмотрим три подхода: 1) прямое вычисление параметров m_1 и m_2 ; 2) разбиение окна анализа на две пары субокон 1 – 4 в соответствии с рис. 2, вычисление с помощью одномерных БПФ; 3) вычисление параметров с помощью двумерного преобразования Фурье. Результаты по оценке количества операций представлены в таблице. Для метода с использованием субкадров в соотношениях принято обозначение $N_{xy} = \min(N_x, N_y)$ выбора наименьшего значения из двух.

Параметр	Число арифметических операций		
	Прямой метод	Метод использованием субкадров	Метод на основе 2D свертки
m_1	$(S_{fon} + 1)N_x N_y$	$2(1 + 2 \cdot \log_2(N_{xy}))N_x N_y$	$(1 + 2 \cdot \log_2(N_x) \cdot \log_2(N_y))N_x N_y$
m_2	$(S_{fon} + 2)N_x N_y$	$(3 + 4 \cdot \log_2(N_{xy}))N_x N_y$	$2(1 + \log_2(N_x) \cdot \log_2(N_y))N_x N_y$
Σ субкадров	–	$3N_x N_y$	–
Всего	$(2S_{fon} + 3)N_x N_y$	$8 \cdot (1 + \log_2(N_{xy}))N_x N_y$	$(3 + 4 \cdot \log_2(N_x) \cdot \log_2(N_y))N_x N_y$

В качестве числового примера рассмотрен случай, когда размер кадра составляет 512×1024 , а площади зоны анализа фона $S_{fon} = 1500$ пикселей. Расчеты показывают, что метод, основанный на двумерной свертке с БПФ, имеет при таких условиях вычислительную сложность в 8 раз меньшую, чем прямой метод реализации, а метод с использованием субкадров – в 37 раз. Последний факт подтверждает известное положение о том, что короткие свертки в ряде случаев дают положительный эффект.

Таким образом, в настоящем докладе предложена методика снижения времени на вычислительные процессы при поиске объектов на изображениях, которая позволяет обосновать выбор алгоритмов ЦОС. Достоинством алгоритмов с использованием быстрой свертки является то, что время их выполнения практически не зависит от размера зоны анализа фона. Кроме того, при использовании двумерной свертки они позволяют делать зону анализа произвольной формы. Следует также заметить, что приведенный анализ не учитывает другие особенности программно-аппаратной реализации устройства цифровой обработки сигналов, например возможность использования сопроцессора, работающего как специализированный вычислитель по алгоритмам БПФ. Привлечение таких ресурсов позволяет заметно снизить вычислительные затраты и провести расчеты в реальном времени.

Литература

1. Совмещение изображений в корреляционно-экстремальных навигационных системах / Под ред. Л.Н. Костяшкина, М.Б. Никифорова. – М.: Радиотехника, 2015.
2. Rakitin A.V., Zhiganov S.N. The comparative analysis of false alarms stabilization algorithms while processing images // Proc. of 8-th Int. conf. "Pattern Recognition and Image Analysis: New Information Technologies" (PRIA-8-2007). Vol. 1. – Yoshkar-Ola: MSTU, 2007. – Pp.170-173.
3. Mueller S.M., Paul W.J. **Computer Architecture Complexity and Correctness**. – Springer-Verlag, 2000.